

## ОЦЕНКА РЕЖИМА РАБОТЫ И ИЗНОСА ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Существующий парк трансформаторов в России включает примерно 40% трансформаторов, отработавших срок более 25 лет. Замена обмоток таких трансформаторов на новые объективно не оправдана, если их изоляция еще работоспособна. Поэтому разработка надежных методов и средств, позволяющих правильно оценить работоспособность изоляции конкретного трансформатора на данный момент и прогнозировать ее работоспособность на будущее время, является актуальной задачей. В настоящее время, как в отечественной, так и в зарубежной электроэнергетике, такие методики и средства отсутствуют. Имеются лишь несистематизированные попытки решить отдельные аспекты проблемы, а именно:

- оценка температуры наиболее нагретой точки;
- оценка состояния износа изоляции.

На кафедре «Автоматизированные электрические системы» разработана программа (см. рисунок) определения технически обоснованных режимов нагрузки силовых трансформаторов с точки зрения допустимых температур и термического износа изоляции трансформаторов. Расчет наиболее нагретой точки и износа производится методом итерации.

Программа составлена таким образом, чтобы потребитель смог ввести исходные тепловые характеристики трансформатора, график нагрузки на заданный период, характер изменения температуры охлаждающей среды на этот период, а также необходимые, по его мнению, специальные ограничения температуры и износа.

Программа позволяет:

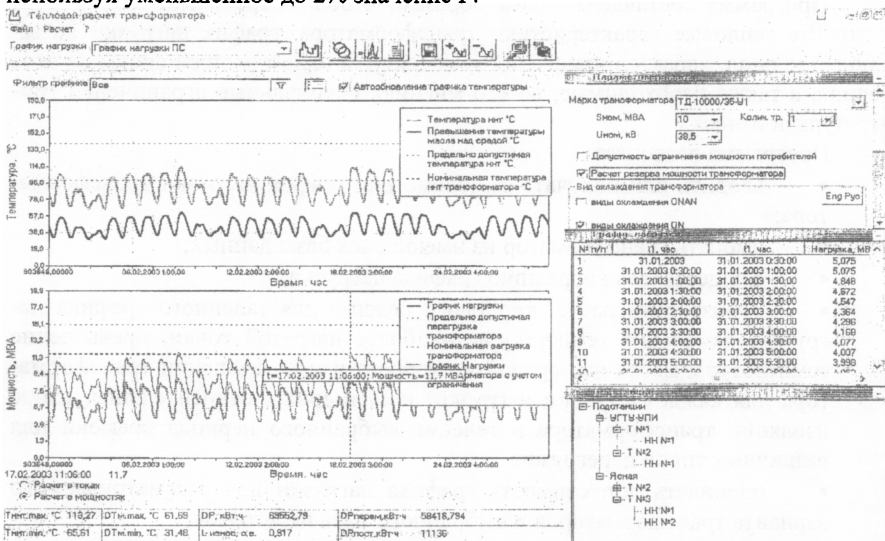
- вводить или получать из телеметрии график нагрузки трансформатора;
- выбрать трансформатор из имеющейся базы данных;
- осуществлять коррекцию графика нагрузки;
- производить расчет теплового режима для заданного графика нагрузки (изменение температуры наиболее нагретой точки, превышение температуры масла над средой и скорость износа изоляции трансформатора для каждой ступени нагрузки) и суммарный относительный износ изоляции трансформатора в течение выбранного периода времени для различных типов перегрузок;
- оценивать допустимость графика нагрузки для рассматриваемого варианта трансформаторов и выбранного типа перегрузок;
- производить расчет резерва мощности трансформатора с учетом специальных ограничений (контроль предельно-допустимой мощности трансформатора, предельно-допустимой температуры наиболее нагретой

точки и масла трансформатора, а также относительного износа изоляции трансформатора);

- расчет потерь мощности в трансформаторе (постоянная и переменная составляющая);
- наглядно предоставлять результаты расчета теплового режима и коррекции графика нагрузки.

Точность теплового расчета трансформатора во многом зависит от качества выборки исходных данных - минимум погрешности замера и продолжительности ступени нагрузки (ретроспективы). Данная проблема была решена в результате подключения расчетной модели к базам данных оперативно-измерительного комплекса ОИК «Диспетчер» ОАО «ЕЭСК». Частота поступления данных в ОИК «Диспетчер» составляет 5 с. Шаг ретроспективы (от 1 мин до 120 мин) выборки данных по телеизмерениям задает пользователь. Введение данной опции позволяет производить расчет и анализ трансформатора за произвольный промежуток времени.

Определение резерва мощности производится для заданного графика нагрузки. Если максимальная температура не превышена и износ ниже принятого предельного значения, расчет повторяют при увеличенном значении множителя  $F$ , применяемого к каждой отдельной нагрузке  $K_1, K_2, \dots, K_n$  через интервалы времени  $t_1, t_2, \dots, t_n$ . Множитель  $F$  повышают степенями на 1% для каждой итерации до тех пор, пока не будет достигнут один из пределов. Если при начальном расчете относительный износ больше принятого значения, расчет повторяют, используя уменьшенное до 2% значение  $F$ .



параметров нагрузки. При температуре наиболее нагретой точки в пределах от 100 до 140°C с увеличением коэффициента нагрузки на 2% максимальная температура наиболее нагретой точки увеличивается более чем на 2°C, а относительный износ приблизительно на 25%.

Резерв мощности трансформатора определяется как разница между начальными и конечными значениями коэффициентов нагрузки трансформаторов.

Изоляция трансформатора подвергается термохимическому износу. Этот процесс является кумулятивным и приводит к недопустимому ее состоянию по некоторым критериям. Согласно закону Аррениуса, период времени до достижения этого состояния в зависимости от скорости химической реакции выражается формулой:

$$\text{Срок службы} = e^{(\alpha + \beta/T)}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – константы;  $T$  – абсолютная температура.

Пока не существует единственного и простого критерия окончания срока службы, который мог бы быть использован для количественной оценки полезного срока службы изоляции трансформатора, однако можно сделать сравнения, основанные на скорости износа изоляции.

$$\text{Скорость износа} = \text{постоянная} \times e^{(\alpha + \beta/T)}. \quad (2)$$

Для трансформаторов, отвечающих требованиям ГОСТ 11677, относительная скорость термического износа изоляции принята равной единице для температуры наиболее нагретой точки 98°C, что соответствует работе трансформатора при температуре охлаждающей среды 20°C и превышению температуры наиболее нагретой точки 78°C. Относительная скорость износа определяется по формуле

$$V = \frac{\text{скорость износа при } \theta_h}{\text{скорость износа при } 98^\circ\text{C}} = 2^{(\theta_h - 98)/6}. \quad (3)$$

Относительный износ изоляции (или относительное сокращение срока службы) в течение определенного периода времени составит

$$L = \frac{1}{t} \int_{t_1}^t V dt. \quad (4)$$

В настоящее время для определения резерва мощности используются данные системных замеров (пиковая нагрузка трансформатора). Оценка не является объективной, так как не учитывает режим загрузки трансформатора и, как следствие, изменение скорости износа в зависимости от ступени загрузки.

Предлагаемый способ оценки силового трансформатора позволяет объективно оценить термический износ и, как следствие, существенно снизить затраты на реконструкцию понижающих подстанций, зачастую неоправданные. Кроме того, данный способ не требует установки дополнительного оборудования и не приведет к дополнительным затратам.

1. ПУЭ. Правила устройства электроустановок. М.: Энергоатомиздат, 2002.
2. ГОСТ 14209-87. Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов. М.: Издательство стандартов, 2001.